

STUDI ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI TANAH PADA JALAN LINGKAR UTARA LAMONGAN SEKSI I

Arya Luthfan Radiana^{1,*}, Moch. Sholeh²

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang²

Email: luthfanarya37@gmail.com¹, moch.sholeh@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Keberadaan Indonesia pada zona rawan gempa menyebabkan banyak wilayah berpotensi mengalami fenomena likuifaksi. Likuifaksi tanah adalah hilangnya daya dukung tanah akibat perilaku kegempaan dan kombinasi faktor geoteknik. Dengan demikian, perlu diadakan kajian mengenai topik ini agar dapat membantu insinyur sebagai upaya mitigasi risiko dan pertimbangan desain bangunan. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan analisis potensi likuifaksi pada Jalan Lingkar Utara Lamongan seksi 1. Berdasarkan penelitian yang sudah ada, metode analisis direkomendasikan berdasarkan hasil uji tanah in-situ. Analisis dilakukan pada 9 titik boring-log (SPT) dan 9 titik uji Sondir (CPT) menggunakan perbandingan faktor tegangan siklis dan tahanan tegangan (CSR/CRR), faktor keamanan (FS), dan indeks potensi likuifaksi (LPI). Sebagai contoh dibandingkan hasil analisis pada titik ABT-01 dan titik S-03. Dari analisis diperoleh potensi likuifaksi masing masing pada kedalaman 9-20 meter pada dan kedalaman 5-17 m dengan penilaian LPI diatas 5 yang menunjukkan risiko bahaya tinggi. Sedangkan pada titik lain didapati penilaian LPI yang semakin tinggi seiring penambahan magnitudo gempa yang direncanakan. Dengan demikian perlu dilakukan rekayasa geoteknik lanjutan tanah di sekitar wilayah tersebut dalam upaya mitigasi resiko likuifaksi.

Kata kunci : Likuifaksi; SPT; CPT; Gempa Bumi

ABSTRACT

Indonesia's location in an earthquake-prone zone has led to many areas potentially experiencing liquefaction. Soil liquefaction is the loss of soil bearing capacity due to seismic behavior and a combination of geotechnical factors. Therefore, a study on this topic is necessary to assist engineers in risk mitigation efforts and building design considerations. Therefore, this study conducted a liquefaction potential analysis on the Lamongan North Ring Road section 1. Based on existing research, the recommended analysis method is based on the results of in-situ soil tests. The analysis was conducted at 9 boring-log points (SPT) and 9 Sondir test points (CPT) using a comparison of cyclic stress and stress resistance factors (CSR/CRR), safety factor (FS), and liquefaction potential index (LPI). From the analysis, the liquefaction potential was obtained at a depth of 9-20 meters and a depth of 5-17 meters, respectively, with an LPI assessment above 5 indicating a high risk of danger. Meanwhile, at other points, the LPI assessment increased as the planned earthquake magnitude increased. Therefore, further geotechnical engineering of the soil around the area is necessary to mitigate the risk of liquefaction.

Keywords : Liquefaction; SPT; CPT; Earthquakes

1. PENDAHULUAN

Daya dukung tanah merupakan faktor penting dalam berbagai proyek konstruksi. [1]. Dalam proyek konstruksi, terutama di daerah rawan gempa, penting untuk memahami

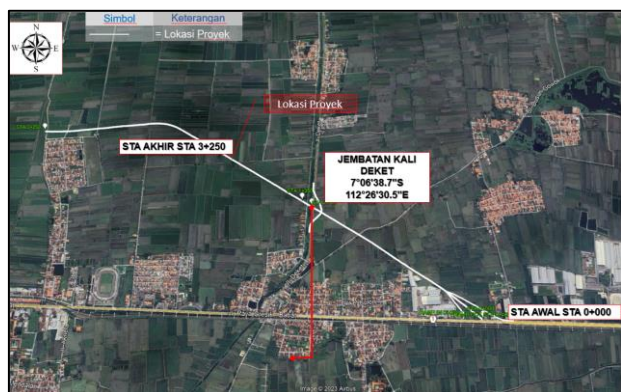
bahwa daya dukung tanah dapat mengalami penurunan signifikan akibat fenomena likuifaksi. Likuifaksi terjadi ketika tanah jenuh air, seperti pasir lepas, sehingga

berpotensi menyebabkan kerusakan serius pada struktur [2], [3], [4].

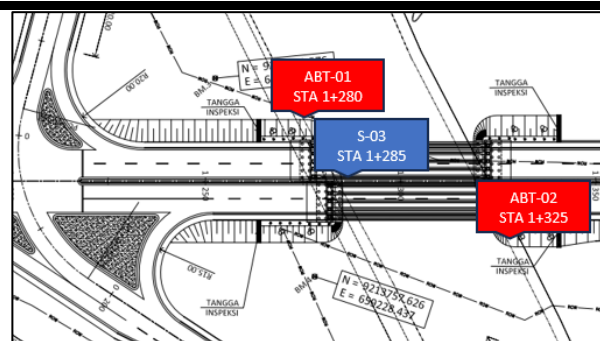
Pasca terjadi gempa Palu pada tahun 2018 yang menyebabkan deformasi tanah secara signifikan dan kerusakan pada infrastruktur, Likuifaksi menjadi topik penelitian yang populer di Indonesia [3], [4], [5]. Penelitian [3], [4] mendapati bahwa wilayah Jawa Timur khususnya wilayah Kabupaten Lamongan, sangat mungkin mengalami likuifaksi apabila terjadi gempa bumi dengan intensitas tinggi. Penelitian ini dimaksudkan untuk melengkapi kesenjangan masalah yang muncul dengan melakukan kajian mengenai potensi likuifaksi berdasarkan data lapangan di Kabupaten Lamongan, khususnya pada kawasan Jalan Lingkar Utara Lamongan Seksi 1 (JLU Lamongan Seksi 1).

2. METODE

Dalam penelitian ini digunakan data investigasi tanah pada area proyek pembangunan Jalan Lingkar Utara Lamongan Seksi 1 berupa hasil Bor log (disertai nilai SPT) dan DCPT sondir sebagai dasar perhitungan. Data lain seperti data gempa diperoleh berdasarkan SNI 1726:2019 [6] dan hasil dari aplikasi Desain Spektra Indonesia yang dikembangkan oleh PUSKIM Kementerian PUPR. Perhitungan potensi likuifaksi dilakukan menggunakan metode Idriss dan Boulanger [2], serta penilaian indeks potensi likuifaksi (*Liquefaction Potential Index*) berdasarkan pendekatan Iwasaki [7]. Penelitian mengandalkan korelasi empiris berdasarkan data eksplorasi tanah yang tersedia [8].



Gambar 1. Lokasi Penelitian
Sumber :Dokumen Proyek



Gambar 2. Layout Titik Investigasi Tanah
Sumber :Dokumen Penulis

Secara umum metode analisis yang dilakukan diawali dengan interpretasi data tanah yang berdasarkan metode investigasi tanah yang digunakan. Interpretasi ini mengandalkan korelasi empiris dan beberapa asumsi konservatif dari data yang ada.

Dilanjutkan dengan menghitung variabel analisis potensi likuifaksi diantaranya; faktor koreksi kedalaman tanah (r_d), faktor penyesuaian magnitudo gempa (MSF), perhitungan tegangan vertikal tanah, N dan q_c yang dikoreksi ke tahanan pasir bersih, rasio tegangan vertikal total dan efektif pada lapisan tanah, dan faktor koreksi beban (K).

Dilanjutkan perhitungan angka banding (FS) antara rasio tegangan siklis (CSR) dan rasio tahanan siklis (CRR). Sebagai penguat dilakukan perhitungan indeks potensi likuifaksi (LPI) untuk selanjutnya dapat diambil kesimpulan kebahayaan pada tanah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Jurnal ini membahas potensi likuifaksi pada kawasan abutmen 1 pada JLU Lamongan Seksi 1. Pembahasan difokuskan pada perhitungan titik uji tanah yang berdekatan yaitu ABT 01 dan S-03.

Untuk melakukan analisis potensi likuifaksi nilai N dikoreksi menjadi N_{60} dan $N_{1(60)}$ terlebih dahulu. Untuk N_{60} memerlukan spesifikasi alat dan $N_{1(60)}$ memerlukan nilai tegangan vertikal pada tanah. Nilai N_{60} dikorelasikan untuk memperoleh nilai berat jenuh, rasio konsolidasi (OCR) pada tanah kelepungan, dan untuk tanah kepasiran diberikan asumsi konservatif untuk nilai kadar halus (FC) sebesar 0% (tabel 1). Dengan adanya deskripsi visual pada borlog disertai nilai N -SPT dapat ditentukan korelasi yang cocok berdasarkan jenis tanah. Dengan diketahui korelasi untuk memperoleh berat jenuh tanah dapat dilakukan perhitungan tegangan vertikal tanah yang berguna untuk perhitungan berikutnya.

Tabel 1. Data korelasi dan koreksi pada ABT-01

Z (m)	N-SPT	N60	(N1)60	γ_{sat}	σv	w	$\sigma'v$	K	OCR	FC (lab)	(N1)60cs
0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-
2	3	2	3	17.1	34.2	9.8	24.4	0.88	4	-	-
4	2	2	3	17.1	68.4	29.4	39.0	0.88	3	-	-
6	3	2	3	17.1	102.6	49.1	53.6	0.79	2	-	-
8	2	2	2	17.1	136.8	68.7	68.1	0.79	2	-	-
10	2	2	2	17.1	171.0	88.3	82.7	0.79	2	-	-
12	3	2	2	17.1	205.2	107.9	97.3	0.79	2	-	-
14	3	2	2	17.1	239.4	127.5	111.9	0.63	1	-	-
16	6	5	4	17.55	274.5	147.2	127.4	0.79	2	-	-
18	13	10	8	18.3	311.1	166.8	144.3	0.88	4	-	-
20	13	10	8	18.3	347.7	186.4	161.3	0.88	3	-	-
22	9	7	5	17.85	383.4	206.0	177.4	0.79	2	-	-
24	12	9	6	18.15	419.7	225.6	194.1	0.88	3	-	-
26	14	11	7	18.45	456.6	245.3	211.4	0.88	3	-	-
28	23	17	11	19.35	495.3	264.9	230.4	0.88	4	-	-
30	34	26	15	20.7	536.7	284.5	252.2	0.91	5	-	-
32	36	27	15	18.7	574.1	304.1	270.0	0.90	-	0	15.34
34	46	35	19	19.5	613.1	323.7	289.4	0.88	-	0	18.94
36	59	45	23	20.5	654.1	343.4	310.8	0.86	6	0	23.15
38	18	14	7	18.9	691.9	363.0	328.9	0.88	3	-	-
40	35	27	13	20.85	733.6	382.6	351.0	0.88	4	-	-

Sumber: Hasil perhitungan

Dengan diketahui nilai berat jenis tanah pada kedalaman tertentu dapat dihitung secara komulatif tegangan vertikal tanah pada seluruh kedalaman tanah. Dari kedua instrumen uji tanah perhitungan koreksi tekanan dipengaruhi tekanan vertikal overburden (σv) [5]. sebagai contoh diambil perhitungan pada ABT:

$$\sigma v_A = \sigma v_{A-1} + ((H_A - H_w) \cdot \gamma_{sat}) \quad (1)$$

$$H_w (GWL) = 1 \text{ m}$$

$$H_A (\text{kedalaman ditinjau}) = 4 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 9,81 \text{ kg/m}^3$$

$$\sigma v_{A-1} = \sigma v \text{ sebelumnya } (\sigma v_{(2m)}) = 34,2 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma v_{(4m)} = 34,2 + (2 \times 17,10) = 68,4 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma'v_{(4m)} = (\sigma v_{(2m)} - (H_A - H_w) \cdot \gamma_{sat}) \quad (2)$$

$$\sigma'v_{(4m)} = 68,4 - ((4 - 1) \times 9,8) = 39 \text{ kg/m}^2$$

Sumber: Hasil perhitungan

Setelah memperoleh nilai tegangan vertikal dapat dihitung koreksi geser statis untuk tanah kelepungan dan koreksi beban berlebih pada tanah kepasiran

$$K\sigma(\text{pasir}) = 1 - C_\sigma \ln \left(\frac{\sigma'_{vc}}{P_a} \right) \leq 1,1 \quad (3)$$

$$C_\sigma = \frac{1}{18,9 - 2,55 \sqrt{(N_1)_{60}}} \leq 0,3 \quad (4)$$

$$C_\sigma = \frac{1}{18,9 - 2,55(15)^{0,5}} \leq 0,3$$

$$C_\sigma = 0,1$$

$$K\sigma = 1 - (0,1) \ln \left(\frac{574,1}{1} \right) \leq 1,1$$

$$K\sigma = 0,90$$

$$K\alpha(\text{lempung}) = 1,344 - \left(\frac{0,344}{\left(1 - \frac{\alpha}{0,22 \cdot OCR^{0,8}} \right)^{0,638}} \right)$$

$$\alpha(\text{konsolidasi normal}) = 0,2$$

$$K\alpha(\text{lempung}) = 1,344 - \left(\frac{0,344}{\left(1 - \frac{(0,2)}{0,22 \cdot (3)^{0,8}} \right)^{0,638}} \right)$$

$$= 0,88$$

Dengan adanya parameter yang diperoleh dapat dihitung nilai N terkoreksi untuk ekuivalen pasir bersih (N160cs)

$$(N_1)_{60CS} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60} \quad (5)$$

$$\Delta(N_1)_{60} = EXP(1.63 + \left(\frac{9,7}{FC+0,01} - \left(\frac{15,7}{FC+0,01} \right)^2 \right)) \quad (6)$$

$$\Delta(N_1)_{60} = EXP(1.63 + \left(\frac{9,7}{0+0,01} - \left(\frac{15,7}{0+0,01} \right)^2 \right)) = 0,34$$

$$(N_1)_{60CS} = 15 + 0,34 = 15,34$$

Disisi lain, berdasarkan data sondir dengan adanya nilai perlawanan konus (Qc) dan nilai hambatan gesek (fs) dikorelasikan dengan teori yang tersedia [2].

Tabel 2. Korelasi dan koreksi pada S-03

Z(m)	Qc	qc1N	Tw	Kw	fs	Rf	Ic	γ_{sat}	σv	w	$\sigma'v$	FC	qcN1cs	K
1	2	3.40	4	0.2	4.0	10.0	3.87	15.75	15.75	0	15.75	94.40	-	0.89
2	5	8.50	7	0.2	4.0	4.00	3.32	16.10	31.86	9.81	22.05	63.23	-	0.86
3	5	8.50	7	0.2	4.0	4.00	3.32	16.10	47.96	19.62	28.34	63.23	-	0.85
4	8	13.60	10	0.2	4.0	2.50	3.03	16.28	64.25	29.43	34.82	50.18	-	0.83
5	9	14.07	11	0.2	4.0	2.22	2.96	16.33	80.58	39.24	41.34	47.20	-	0.82
6	7	10.18	9	0.2	4.0	2.86	3.11	16.23	96.81	49.05	47.76	53.69	-	0.83
7	9	12.28	11	0.2	4.0	2.22	2.96	16.33	113.14	58.86	54.28	47.20	-	0.81
8	14	18.02	16	0.2	4.0	1.43	2.70	16.50	129.64	68.67	60.97	37.05	-	0.79
9	17	20.76	19	0.2	4.0	1.18	2.58	16.57	146.21	78.48	67.73	33.07	71.44	0.78
10	19	22.00	23	0.4	8.0	2.11	2.68	17.41	163.63	88.29	75.34	36.34	-	0.77
11	20	22.11	23	0.3	6.0	1.50	2.58	17.10	180.73	98.1	82.63	32.89	74.08	0.76
12	25	26.55	27	0.2	4.0	0.80	2.36	16.72	197.45	107.91	89.54	26.01	81.25	0.75
13	27	27.62	29	0.2	4.0	0.74	2.31	16.75	214.20	117.72	96.48	24.74	82.84	0.74
14	33	32.43	38	0.5	10.0	1.52	2.40	17.88	232.08	127.53	104.55	27.33	93.45	0.72
15	43	40.70	48	0.5	10.0	1.16	2.24	17.98	250.07	137.34	112.73	22.84	107.97	0.69
16	42	38.39	47	0.5	10.0	1.19	2.26	17.97	268.04	147.15	120.89	23.22	103.56	0.69
17	42	37.16	47	0.5	10.0	1.19	2.26	17.97	286.02	156.96	129.06	23.22	101.08	0.69
18	50	42.80	58	0.8	16.0	1.60	2.27	18.58	304.60	166.77	137.83	23.67	112.61	0.67
19	72	59.68	82	1	20.0	1.39	2.11	18.98	323.58	176.58	147.00	19.54	143.34	0.62
20	88	70.65	103	1.5	30.0	1.70	2.11	19.52	343.10	186.39	156.71	19.41	165.14	0.57
21	161	125.40	174	1.3	26.0	0.81	1.69	19.59	362.69	196.2	166.49	11.01	259.60	0.34
22	0	N/A	0	0	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-	-	-
23	0	N/A	0	0	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	-	-	-

Sumber:Hasil Perhitungan

Dengan demikian dapat diperoleh kalsifikasi tanah (I_c), berat jenuh tanah (γ_{sat}), dan kadar halus (FC). sifat tanah yang rentan mengalami likuifaksi (kepasiran). Sebagai contoh disajikan perhitungan pada kedalaman 12 meter, Untuk I_c ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$I_{SBT}(I_c) = \left[\left(3,47 - \log\left(\frac{q_c}{p_a}\right) \right)^2 + (\log R_f + 1,22)^2 \right]^{0,5} \quad (7)$$

$$I_c = \left[\left(3,47 - \log\left(\frac{25}{1}\right) \right)^2 + (\log(0,8) + 1,22)^2 \right]^{0,5} = 2,36$$

I_c menunjukkan klasifikasi tanah, berdasarkan literatur [2] indeks tanah dengan nilai $I_c < 2,6$, merupakan tanah kelepungan atau dengan FC diatas 30 % yang aman dari potensi likuifaksi. Untuk nilai I_c yang memenuhi dilanjutkan perhitungan FC dan $qcN1cs$. Untuk nilai FC:

$$FC(\%) = 2,8 I_c^{2,6} \quad (8)$$

$$FC(\%) = 2,8(2,36)^{2,6} = 26,01 \%$$

Untuk nilai $(qcN1)cs$:

$$(qcN1)_{cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N} \quad (9)$$

$$\Delta q_{c1N} = \left(5,4 + \frac{q_{c1N}}{16} \right) \cdot EXP(1.63 + \left(\frac{9,7}{FC + 0,01} - \left(\frac{15,7}{FC + 0,01} \right)^2 \right) \quad (10)$$

$$\Delta q_{c1N} = \left(5,4 + \frac{30,27}{16} \right) \cdot EXP(1.63 + \left(\frac{9,7}{26,10 + 0,01} - \left(\frac{15,7}{26,01 + 0,01} \right)^2 \right)$$

$$\Delta q_{c1N} = 54,70$$

$$(q_{c1})_{Ncs} = 26,55 + 54,70$$

$$(q_{c1})_{Ncs} = 81,25$$

Setelah memperoleh parameter berdasarkan data investigasi tanah perlu dilakukan perhitungan arameter lain yaitu PGA, Rd, MSF

Berdasarkan literatur [2], penggunaan magnitudo desain yang disarankan menggunakan satuan magnitudo momen (M_w) dengan variasi 5,5 Mw, 6,5 Mw, & 5 Mw, dan 8 Mw [5]. Sebagai contoh diambil nilai 7,5 Mw sebagai gempa standar. Angka ini nantinya akan digunakan untuk perhitungan faktor reduksi kedalaman tanah (rd) dan faktor skala gempa (MSF).

$$MSF = 6,9 \cdot \exp\left(\frac{-M_w}{4}\right) - 0,058 \leq 1,8; (Pasir) \quad (11)$$

$$MSF = -1,12 \cdot \exp\left(\frac{-M_w}{4}\right) + 0,828 \leq 1,13; (lempung) \quad (12)$$

$$MSF_{5,5Mw} = 6,9 \cdot \exp\left(\frac{-7,5}{4}\right) - 0,058 = 1,00; (Pasir)$$

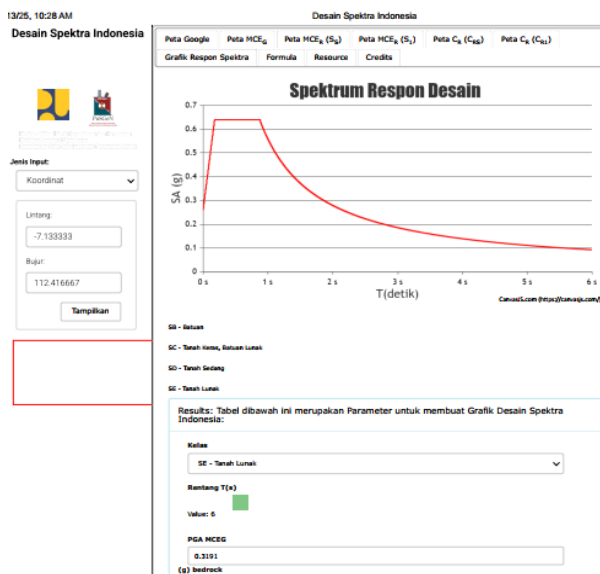
$$MSF = -1,12 \cdot \exp\left(\frac{-7,5}{4}\right) + 0,828 = 1,10; (\text{lempung})$$

Tabel 3. MSF pada tanah

MSF(clean Sand)		MSF(Lempung)	
Var.Mw	MSF	Var.Mw	MSF
5,5	1,65	5,5	1,13
6,5	1,28	6,5	1,13
7,5	1,00	7,5	1,10
8	0,88	8	1,08

Sumber: Hasil perhitungan

Untuk nilai PGS digunakan nilai PGA MCEG dari desain spektra Indonesia dengan nilai 0,319 g.



Gambar 3. Nilai PGA Lokasi Proyek

Sumber: Desain Spektra Indonesia

Untuk perhitungan R_d . Variabel yang digunakan adalah kedalaman dan magnitudo, dalam tulisan ini disajikan R_d pada variasi gempa yang digunakan (7,5 Mw). Dengan rincian perhitungan sebagai berikut:

$$r_d = \exp(\alpha(z) + \beta(z) \cdot M) \quad (13)$$

$$r_d = \exp(\alpha(8) + \beta(8) \cdot 6,5)$$

$$\alpha(z) = 1.012 - (1.126) \sin\left(\frac{8}{11,73} + 5,133\right) \quad (14)$$

$$\alpha(z) = -0,5$$

$$\beta(z) = 0,106 + 0,118 \sin\left(\frac{8}{11,28} + 5,412\right) \quad (15)$$

$$\beta(z) = 0,06$$

$$r_d = \exp((-0,5) + (0,06) \cdot 6,5)$$

$$r_{d(8m)} = 0,92$$

Setelah diperoleh parameter yang diperlukan dilanjutkan analisis potensi likuifaksi pada tiap lapisan dnegan menghitung CRR dan CSR. Untuk CRR dilakukan perhitungan mengandalkan data OCR pada SPT dan $qc1Ncs$ pada Sondir. Dengan Rincian perhitungan sebagai berikut:

$$CRR = 0,18 \cdot OCR^{0,8} \quad (16)$$

$$CRR = 0,18 \cdot (2)^{0,8} = 0,31$$

$$CRR_{Mw} = CRR \cdot K_\alpha \cdot MSF \quad (17)$$

$$MSF = 1,1 (\text{untuk } mw = 7,5, \text{ tanah lempung})$$

$$CRR_{7,5} = 0,31 \times 0,38 \times 1,1 = 0,27$$

Sedangkan pada data sondir

$$CRR_{7,5} = \exp\left\{\left(\frac{qc1Ncs}{540}\right) + \left(\frac{qc1Ncs}{67}\right)^2 - \left(\frac{qc1Ncs}{80}\right)^3 + \left(\frac{qc1Ncs}{114}\right)^4 - 3\right\} \quad (18)$$

$$CRR = \exp\left\{\left(\frac{89,15}{540}\right) + \left(\frac{89,15}{67}\right)^2 - \left(\frac{89,15}{80}\right)^3 + \left(\frac{89,15}{114}\right)^4 - 3\right\} = 0,11$$

$$CRR_{Mw} = CRR \cdot K_\sigma \cdot MSF$$

$$MSF = 1,1 (\text{untuk } mw = 7,5, \text{ tanah pasir})$$

$$CRR_{5,5} = 0,11 \times 0,75 \times 1$$

$$CRR_{5,5} = 0,09$$

Pada perhitungan CSR diambil contoh sebagai berikut:

$$CSR = 0,65 \cdot \frac{\alpha_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'v} \cdot r_d \quad (19)$$

$$\alpha_{max} = PGA = 0,319 \text{ g}$$

$$CSR = 0,65 \cdot \frac{0,319 \text{ g}}{g} \cdot \frac{129,64}{60,97} \cdot 0,92 = 0,45$$

Tabel 4. Perhitungan Tahahan siklis (CRR)

Z (m)	ABT-01				S-03			
	OCR	CRR	$K\sigma$	CRR ($M_w=7,5$)	qc1Ncs	CRR	$K\sigma$	CRR ($M_w=7,5$)
1	-	-	-	-	-	non-liq	-	-
2	4	0.55	0.88	0.53	-	non-liq	-	-
3					-	non-liq	-	-
4	3	0.43	0.88	0.42	-	non-liq	-	-
5					-	non-liq	-	-
6	2	0.31	0.79	0.27	-	non-liq	-	-
7					-	non-liq	-	-
8	2	0.31	0.79	0.27	-	non-liq	-	-
9					71.44	0.10	0.78	0.08
10	2	0.31	0.79	0.27	-	non-liq	-	-
11					74.08	0.10	0.76	0.08
12	2	0.31	0.79	0.27	81.25	0.11	0.75	0.09
13					82.84	0.12	0.74	0.09
14	1	0.18	0.63	0.12	93.45	0.13	0.72	0.10
15					107.97	0.16	0.69	0.11
16	2	0.31	0.79	0.27	103.56	0.15	0.69	0.10
17					101.08	0.14	0.69	0.10
18	4	0.55	0.88	0.53	112.61	0.16	0.67	0.11
19					143.34	0.24	0.62	0.15
20	3	0.43	0.88	0.42	165.14	0.36	0.57	0.21
21					259.60	183.76	0.34	61.75
22	2	0.31	0.79	0.27	-	non-liq	-	-

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 5. Perhitungan tegangan Siklis (CSR)

Z (m)	ABT-01			S-03			Rd ($M_w=7,5$)
	σ_v	σ'_v	CSR	σ_v	σ'_v	CSR	
1				15.75	15.75	0.21	1.00
2	34.2	24.39	0.29	31.86	22.05	0.33	0.99
3				47.96	28.34	0.38	0.98
4	68.4	38.97	0.35	64.25	34.82	0.41	0.97
5				80.58	41.34	0.43	0.96
6	102.6	53.55	0.38	96.81	47.76	0.44	0.95
7				113.14	54.28	0.45	0.94
8	136.8	68.13	0.38	129.64	60.97	0.45	0.92
9				146.21	67.73	0.45	0.91
10	171	82.71	0.38	163.63	75.34	0.45	0.90
11				180.73	82.63	0.44	0.88
12	205.2	97.29	0.38	197.45	89.54	0.44	0.87
13				214.20	96.48	0.44	0.85
14	239.4	111.87	0.37	232.08	104.55	0.43	0.84
15				250.07	112.73	0.42	0.82
16	274.5	127.35	0.36	268.04	120.89	0.41	0.81
17				286.02	129.06	0.40	0.79
18	311.1	144.33	0.35	304.60	137.83	0.40	0.78
19				323.58	147.00	0.39	0.76
20	347.7	161.31	0.34	343.10	156.71	0.38	0.75
21				362.69	166.49	0.37	0.74
22	383.4	177.39	0.32	N/A	N/A	N/A	0.72

Sumber: Hasil perhitungan

Setelah diperoleh nilai CSR dan nilai CRR pada lapisan tanah dan magnitude desain yang sama. Dilakukan perhitungan nilai FS. Sebagai contoh disajikan perhitungan FS sebagai berikut:

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (20)$$

$FS < 1$ (terjadi likuifaksi); $FS > 1$ (tidak terjadi likuifaksi)

$$FS = \frac{0,15}{0,39} = 0,39$$

$FS = 0,83$ (tanah rentan likuifaksi)

Nilai FS selanjutnya sudah dapat disajikan sebagai hasil akhir analisis potensi likuifaksi karena sudah menyatakan. Nilai CSR dan CRR yang dieproleh kemudian diinterpretasikan untuk memperoleh penilaian lapisan yang aman (FS) dan Indeks Potensi Likuifaksi (LPI).

$$LPI = \int_0^{20} F w(z) dz \quad (21)$$

$F = 1 - FS$ (Liquefable); atau $FS -$

1 (non liquefable) (22)

$$w = 10 - 0,5 (Z) \quad (23)$$

$$F_{11m} = 1 - 0,18 = 0,82$$

$$w_{11m} = 10 - 0,5 (11); w = 4,5$$

$$I_{11m} = F_{11m} \cdot w_{11m} \quad (24)$$

$$I_{11m} = 0,82 \times 4,5 = 3,69$$

$$LPI = (F_1 \cdot w(1)) + (F_2 \cdot w(2)) + \dots + (F_{11} \cdot w(11)) + (F_{12} \cdot w(12)) + \dots + (F_{20} \cdot w(20)) \quad (25)$$

$$LPI = 0 + 0 + \dots + 3,69 + 3,22 + \dots 0 = 22,11$$

$$LPI = 22,11; (LPI > 15; \text{Risiko sangat tinggi})$$

Lapisan yang mengalami kerentanan likuifaksi dalam penelitian ini disajikan dalam bentuk grafik pada gambar. Setelah diperoleh nilai FS pada tiap lapisan tanah pada magnitude desain yang sama.

Tabel 6. Perhitungan FS dan LPI

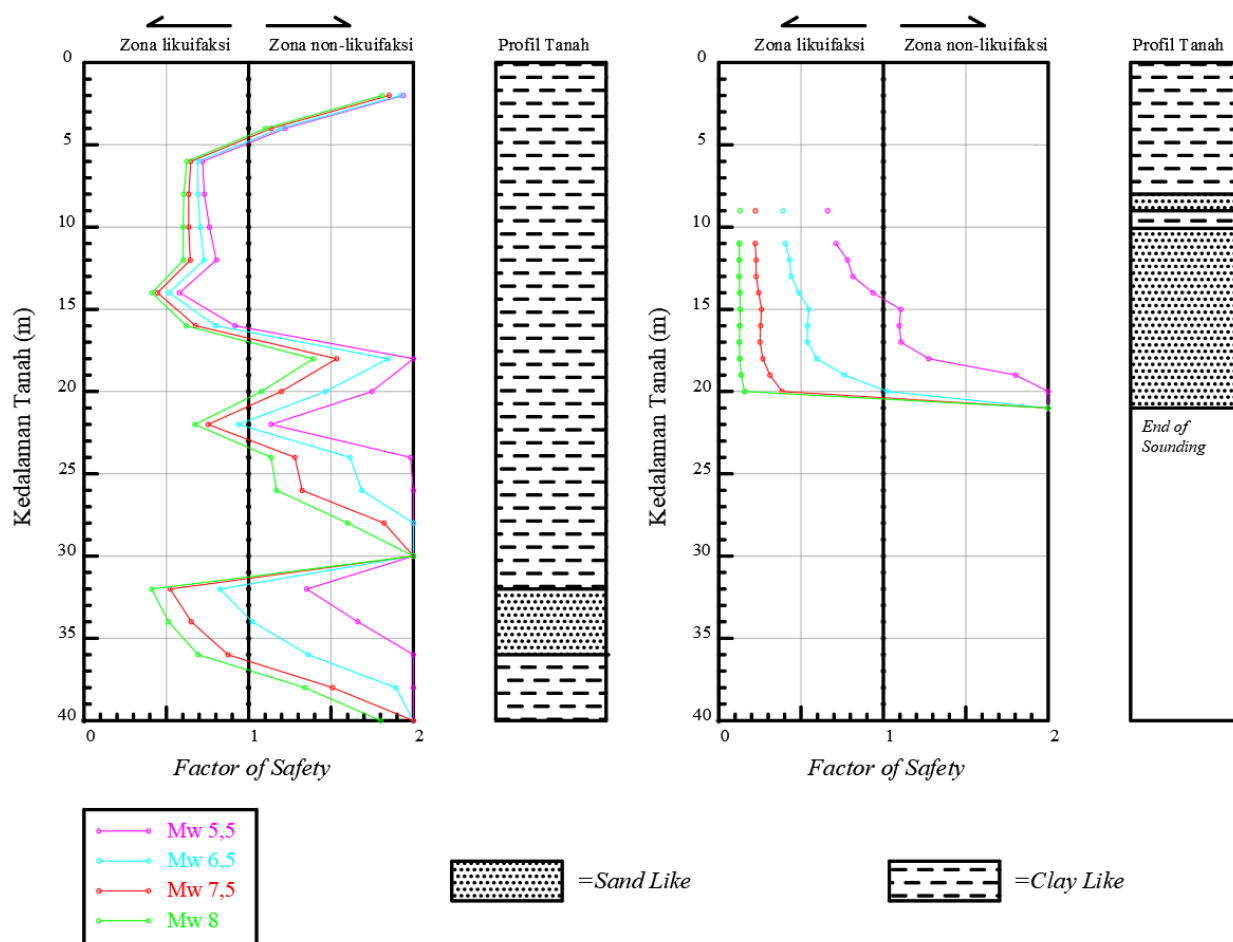
Z (m)	ABT-01						S-03					
	CRR (Mw=7,5)	CSR (Mw=7,5)	FS	LPI			CRR (Mw=7,5)	CSR (Mw=7,5)	FS	LPI		
				F	w	Index				F	w	Index
1	-		-				-	0.21	-	0	9.5	0
2	0.53	0.29	0.88	0	9	0	-	0.33	-	0	9	0
3							-	0.38	-	0	8.5	0
4	0.42	0.35	0.88	0	8	0	-	0.41	-	0	8	0
5							-	0.43	-	0	7.5	0
6	0.27	0.38	0.79	0.27	7.00	1.92	-	0.44	-	0.00	7.00	0.00
7							-	0.45	-	0.00	6.50	0.00
8	0.27	0.38	0.79	0.29	6.00	1.73	-	0.45	-	0.00	6.00	0.00
9							0.08	0.45	0.17	0.83	5.50	4.54
10	0.27	0.38	0.79	0.29	5.00	1.44	-	0.45	-	0.00	5.00	0.00
11							0.08	0.44	0.18	0.82	4.50	3.69
12	0.27	0.38	0.79	0.28	4.00	1.12	0.09	0.44	0.19	0.81	4.00	3.22
13							0.09	0.44	0.20	0.80	3.50	2.81
14	0.12	0.37	0.63	0.66	3.00	1.99	0.10	0.43	0.22	0.78	3.00	2.33
15							0.11	0.42	0.26	0.74	2.50	1.86
16	0.27	0.36	0.79	0.24	2.00	0.49	0.10	0.41	0.25	0.75	2.00	1.50
17							0.10	0.40	0.25	0.75	1.50	1.13
18	0.53	0.35	0.88	0.00	1.00	0.00	0.11	0.40	0.28	0.72	1.00	0.72
19							0.15	0.39	0.39	0.61	0.50	0.31
20	0.42	0.34	0.88	0.00	0.00	0.00	0.21	0.38	0.55	0.45	0.00	0.00
LPI	LPI (Total Index)					8.70	LPI (Total Index)					22.11
	Risiko Tinggi						Risiko Sangat Tinggi					

Sumber: Hasil perhitungan

Grafik disajikan dengan penilaian FS pada variasi magnitudo gempa. Warna ungu untuk Mw 5,5, Biru untuk Mw 6,5, merah untuk Mw 7,5 dan hijau untuk Mw 8. Berdasarkan grafik yang sudah disajikan didapati potensi likuifaksi pada kedalaman 5-17 pada ABT-01 dan kedalaman 9-20 di S-03. Pada data sondir hasil investigasi terhenti pada kedalaman 20 meter karena keterbatasan alat sondir pada lapisan tanah yang relatif keras. Disisi lain berdasarakan SPT pada kedalaman

20 hingga 30 meter tidak didapati potensi likuifaksi, hal ini sesuai dengan hasil uji sondir dengan ditemuinya lapisan tanah keras yang tidak rentan terlikuifaksi. Pada kedalaman 32-36 meter pada data SPT didapati lapisan rentan likuifaksi namun pada kedalaman ini potensi bahaya likuifaksi jarang ditemui. Hasil investigasi dan perhitungan kemudian diinterpretasikan dan ditentukan metode perbaikan tanah yang direkomendasikan berdasarkan literatur

Gambar 3. Grafik nilai FS pada ABT-01 dan S-03



Sumber: Hasil perhitungan

4. KESIMPULAN

Potensi likuifaksi ditemukan pada titik ABT-01 di kedalaman 5-17 meter dengan rincian lapisan tanah lempung dengan rasio konsolidasi kurang dari 4. Pada titik S-03, di kedalaman 9-20 untuk gempa Mw=7,5. Pada variasi magnitudo yang lain juga menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda.

Dari penilaian LPI dari 2 titik yang dianalisis diperoleh nilai LPI 8,70 dan 22,11. Meskipun nilai yang ditunjukkan cukup jauh nilai ini masih merepresentasikan hasil lapangan dengan

menunjukkan potensi bahaya likuifaksi dari tinggi hingga sangat tinggi. Perbedaan ini dipengaruhi penilaian lapisan yang berpotensi likuifaksi yang terbatas di 20 meter. Pada data SPT penilaian LPI lebih rendah menunjukkan pada lapisan <20 meter lebih sedikit ditemui lapisan rentan likuifaksi dari data sondir. Namun perlu dicatat bahwa lapisan rentan likuifaksi pada SPT juga ditemui pada kedalaman 32 hingga 36 meter.

Dengan demikian untuk mitigasi likuifaksi untuk kedalaman lebih dari 5 meter di daerah Abutment jembatan JLU

Lamongan Seksi 1. Mitigasi perbaikan tanah yang direkomendasikan seperti metode sistem drainase PVD untuk membantu konsolidasi tanah dan pemilihan pondasi dalam untuk menopang beban besar bangunan.

Penulis menyadari banyak kekurangan dalam penelitian ini, sehingga disarankan agar penelitian selanjutnya menambahkan penggunaan data laboratorium agar hasil yang diperoleh lebih valid. Analisis tambahan seperti penurunan tanah dan pergeseran lateral dapat dilakukan dengan adanya data lapangan seperti densitas asli (Dr), Kuat geser (Su), dan plastisitas tanah. Beberapa tes laboratorium seperti *unconfined test* dan *triaxial test*. Menyusun stratigrafi dan membuat peta zona likuifaksi berdasarkan parameter FS dan LPI untuk wilayah JLU Lamongan Seksi 1 agar risiko bisa dipetakan pada profil dan layout wilayah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. M. Das and K. Sobhan, "Principles of Geotechnical Engineering," *Cengage Learn.*, p. 819, 2018.
- [2] I. M. Idriss, "SOIL LIQUEFACTION DURING EARTHQUAKES," *Dep. Civ. Environ. Eng. Univ. Calif. Davis*, vol. 160, no. 4057, p. 43, 2008, doi: 10.1177/136218079700300202.
- [3] A. M. Achsan, D. Darmawan, and ..., "Kajian Potensi Likuefaksi Di Pulau Jawa Dengan Metode Global Geospatial Liquefaction Model (Gglm)," *J. Ilmu Fis. dan ...*, pp. 17–24, 2022, [Online]. Available: <https://journal.student.uny.ac.id/index.php/fisika/article/view/17973%0Ahttps://journal.student.uny.ac.id/index.php/fisika/article/download/17973/17295>
- [4] T. W. Buana *et al.*, "Atlas Zona Likuefaksi Indonesia," 2019.
- [5] M. Irsyam, S. Widiyantoro, and D. H. Natawidjaja, *PETA SUMBER DAN BAHAYA GEMPA INDONESIA TAHUN 2017*. 2017.
- [6] Badan Standardisasi Nasional, "Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung," *Sni 2847-2019*, no. 8, p. 720, 2019.
- [7] D. K. Li, C. Hsein Juang, and R. D. Andrus, "Liquefaction potential index: A critical assessment using probability concept," *J. Geoenviron. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 11–24, 2006, doi: 10.6310/jog.2006.1(1).2.
- [8] R. S. Warman, "Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik Dan Pondasi," pp. 1–94, 2019.